

北京电网新能源消纳能力研究

以北京电网为例，在分析北京电网新能源发展现状的基础上，结合北京新能源规划发展情况，从电力电量平衡、电网输送能力及系统调峰能力三个方面分析研究北京电网对新能源的消纳能力。所提出的新能源消纳能力计算方法也可以适用于定量分析其他电网系统对分布式电源的消纳能力。

余潇潇 张璞 左向红 刘兆燕 张凯/国网北京电力经济技术研究院

0 引言

能源与环境问题是制约世界经济与社会可持续发展的两个突出问题^[1]。现今社会发展正面临着传统能源日渐短缺和环境污染日益严重的困难局面。为缓解这一矛盾，必须提升新能源在能源利用总量中的比重，解决日益严重的环境污染问题。目前，已经有越来越多的新能源以分布式电源的方式接入系统中对用户进行供电。然而基于新能源发电的分布式电源在输出特性等方面与传统发电机有本质区别。分布式电源通常具有容量小、出力波动大、输出具有随机性和间歇性的特点。因此，如果分布式电源大量接入电网，将对电网的安全稳定运行造成隐患，对电网的一次、二次设备及电能质量也将产生影响。近年来，全国多地出现了大规模的“弃风限电”现象，主要原因就是本地电网因为网架薄弱或负荷偏低，无法对风电进行全部消纳。因此，按照“节能环保、就地消纳”的原则，对电网的分布式电源消纳能力进行计算，研究一个给定的电网系统，确定其到底最多能接入多大容量的

新能源发电，可为新能源发电与电网的协调发展提供量化依据。

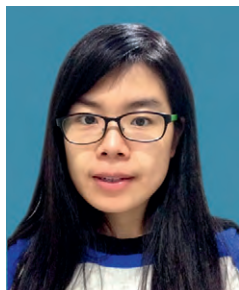
1 北京地区新能源发展现状

北京市新能源品种比较齐全，主要包括风能、太阳能、地热能、生物质能和小水电等。其中，用于发电的新能源主要有风能、太阳能和生物质能。下面分别对北京地区各种新能源及分布式电源的发展进行介绍。

1.1 北京地区风力资源发展现状及风电并网项目

北京风能资源储量约为460万kW，目前已探明的风资源可利用资源量为60万kW，主要分布于延庆、密云、门头沟等北部及西北部山区。其中，位于北部延庆县和河北怀来县交界的狼山风口的北京官厅风电场的风力资源相对优越^[2]。

官厅风场地势为北低南高，是河北省怀来县与北京市延庆县的交界地带。该地区中心坐标为东经115°58′，北纬40°25′，海拔高度460~479 m。气候属北温带季风气候区，年平均气温8.4℃，最低气温零下27.3℃，最高气温39.6℃，年平均降雨量为481 mm，具有夏季较热，冬季寒冷的特点。官厅风电场位于延庆西北端官厅水库南岸，距北四环70 km。该地区经八达岭、延庆县及怀来县的常年测风资料推算，结合当地自然环境的评价，年平均风速在10 m高度为5.0 m/s，70 m高度平均风速为7.11 m/s，平均风功率密度约为422 W/m²，风力资源蕴含量丰富，适合大规模开发。现有风力发电机组轮毂高度65 m，叶轮直径77 m，整机效率40%左右，年有效发电时长约为2 000 h。



余潇潇/工程师

关键词/Keywords

新能源 ·
分布式电源 ·
电网规划 ·
渗透率 ·
电力电量平衡 ·

鹿鸣山官厅风电场项目于2007年正式启动,为北京市第一个风力发电项目。该项目一期装机为33台0.15万kW风机,风电二期装机为33台0.15万kW风机,二期加密工程装机为33台0.15万kW风机。鹿鸣山官厅风电场已投运,三期工程现已竣工,现总装机规模为20万kW,第四期工程将于2015年投运,届时官厅风场的总装机规模将达到25万kW^[3]。

北京电网电力平衡纳入京津唐电网统一平衡,在冬季大风供热期间,供热机组调峰能力下降,低谷负荷期间电力平衡困难,风机出力被迫受到限制,年度累计最大限电电力为9.5万kW,累计限电电量为266.275万kW·h。受电网对风电接入消纳能力限制,北京市风电设备的平均利用小时数呈逐年降低趋势,2013年北京市风电设备平均利用小时数为2 100 h,较2011年缩短572 h^[4]。

1.2 北京地区太阳能资源及光伏、光热发电项目

北京地区的经度为东经116.46°,纬度为北纬39.92°,太阳能资源潜力较大。北京属于全国太阳能资源区域二类地区,年日照时数达到2 750 h,年累计太阳辐射量达到5 357 MJ/m²,年累计散射辐射量约为2 413 MJ/m²,年累计直射辐射量约为2 944 MJ/m²,年接受太阳能辐射总量约合26亿t标准煤。延庆、密云、怀柔等生态涵养区的太阳能资源条件较为优越^[2]。

根据最新数据统计,截止2014年11月30日,北京电网已并网发电的分布式电源共73户,均为分布式光伏,总容量28.55 MW。其中220 V并网用户18户,总容量0.07 MW,380 V并网55户,总容量28.48 MW;无10 kV并网用户。目前介入容量最大的地区是亦庄地区,接入总容量为16.96 MW,占整个北京地区分布式电源总容量的59.4%,电力渗透率1.67%,电量渗透率0.44%。2014年北京电网分布式光伏电源累计发电0.189亿kW·h,累计上网电量0.012亿kW·h^[2]。

光热发电在我国处于起步阶段,我国首个光热发电示范项目是位于延庆八达岭地区的1 MW塔式光热发电示范项目。该项目是“十一五”国家863计划“太阳能热发电技术及系统示范”重点项目,已于2012年8月9日成功并网发电。

1.3 北京地区生物质能及生物质发电项目

北京的生物质发电主要包括垃圾焚烧发电和垃圾填埋沼气发电,建设重点为:在规模化畜禽养殖场建设沼气工程,并配套安装沼气发电设施。在顺义、密云和大兴等规模化畜禽养殖场密集区域建设沼气工程,并合理配套安装沼气发电设施;在城市工业有机废水和污水处理厂建设沼气发电工程^[2]。

北京地区目前已建成规模化畜禽养殖场沼气发电工程1座,在经济发达、土地资源稀缺的城区建设垃圾焚烧发电厂,积极推广垃圾卫生填埋技术,并建设沼气回收和发电装置。现状已建成四座垃圾发电厂,日处理垃圾5 000 t,占垃圾产生量的50%,总装机容量达到10万kW^[3]。

北京市已投产鲁家山垃圾焚烧发电厂、高安屯垃圾焚烧电厂、阿苏卫填埋气电厂、德青源沼气电厂及绿赛克垃圾焚烧电厂等五座生物质发电厂,总装机容量达99.6 MW^[3]。

2 北京电网新能源消纳能力研究

尽管北京电网网架结构较为坚强,负荷密度偏高,但作为典型的受端电网,可控资源有限,因此对于出力波动较大的新能源、分布式电源,接纳能力有限。需要测算北京电网对分布式电源的消纳能力,对其发展进行合理规划,避免因分布式电源大规模、快速发展对电网安全稳定运行造成影响。

截至2014年底,北京地区共有公用发电厂总装机容量987万kW。其中火电厂装机容量857万kW,比例约为86.8%;水电装机容量101万kW,比例约为10.2%,主要为抽水蓄能电厂;风电厂装机容量15万kW,比例约为1.5%;分布式电源容量3.2万kW,比例约为0.3%^[4]。下面将以2015年作为基准年,对北京电网对各类新能源的消纳能力进行计算。

2.1 北京电网对风力发电的独立消纳能力

考虑到风电场的外送功率较大,风电场并网点电压不宜过低,计算中风电场并入110 kV变电站或220 kV变电站的110 kV母线,根据北京勘测设计院对北京风力资源的预评估,选择风电场并网点为,邓庄、聂各庄、付家台、栗园、密云、平谷、怀柔,如表1所示。

表1 风电场并网容量的计算结果 (单位: MW)

并网节点	静态电压限制	变压器容量限制	暂态电压跌落限制	短路容量限制
邓庄	300	240	>1 000	760
聂各庄	380	360	>1 000	1 173
付家台	300	240	>1 000	1 400
栗园	250	240	>1 000	1 000
鱼子山	300	240	>1 000	760
密云	420	240	>1 000	627
怀柔	300	240	>1 000	667

可见, 风电场并网容量的主要限制条件是变压器的容量。综合上述分析可得到各并网节点风电的并网容量如表2所示。

表2 风电并网容量 (单位: MW)

并网节点	变电站风电并网容量限值
邓庄	240
聂各庄	360
付家台	240
栗园	240
鱼子山	240
密云	240
怀柔	240
总计	1 800

考虑到北京电网在2017年北京地区煤电机组将全部退运, 而冬季北京地区燃气机组调峰能力十分有限, 仅依靠燃气机组和十三陵蓄能电厂, 北京电网无法对本地风电进行消纳, 必须依靠联络线对负荷及风电装机的出力波动进行平衡。因此, 需要考虑京津唐电网的整体电力平衡计算北京电网对风电的消纳能力。

京津唐电网的2015年装机容量为6 692.74万kW, 2020年总装机容量将达到9 569.25万kW, 新增装机已燃气为主, 根据“十三五”京津唐电力平衡分析, 机组可调容量增量仅为4.7%。

负荷备用容量一般按5%比例考虑(即3 346 MW), 京津唐电网在2014年的实际运行中, 备用容量的调用率接近100%。综合一年的运行情况, 可用来平衡北京地区分布式电源功率波动的

旋转备用容量应不超过1 500 MW(按照日最大负荷预测误差10%进行计算, 北京地区历史最大负荷为1 776万kW, 保守选择用于平衡分布式电源功率波动的旋转备用为150万kW)。以风电最大功率波动60%来计算, 其功率波动为1 800 MW×60%=1 080 MW, 低于旋转备用的最大值, 为此, 风电最大装机容量为1 800 MW。

三华联网后, 电网的频率调节系数为2 500~3 000 MW/0.1 Hz, 当北京地区分布式电源出现1 500 MW的功率波动后, 电网的频率将出现0.05~0.067 Hz的偏差。按照调度系统国标中频率波动不超过±0.2 Hz的运行要求, 分布式电源引起的频率偏差在允许的范围之内。由于京津唐电网的一次调频死区为0.033 Hz, 因此分布式电源的最大功率波动将引起京津唐地区的一次调频动作。

2.2 北京电网对光伏(光热)发电的独立消纳能力

根据光伏发电系统的接入范围可知, 小型光伏发电系统一般接入城区和近郊区的380 V网络, 大/中型光伏发电系统一般接入远郊区10 kW母线。经BPA计算, 变电站的平均接入容量为8.3 MW, 若考虑北京电网的变电站按400座计算, 则北京电网可消纳的光伏发电系统的容量为

$$S = 8.3 \text{ MW} \times 400 = 3\,320 \text{ MW} \quad (1)$$

北京电网中的功率缺额主要由京津唐地区的发电机组平衡, 与风电分析类似, 以光伏电站最大功率波动60%来计算, 其功率波动为1 992 MW, 超过旋转备用的最大值, 为此, 削减其装机容量至2 500 MW满足要求。

2.3 北京电网对生物质发电的独立消纳能力

经BPA计算, 变电站对生物质能分布式电源的平均接入容量为8.0 MW, 若北京电网按400座变电站计算, 则北京电网可消纳的生物质发电系统的容量为

$$S = 8.0 \text{ MW} \times 400 = 3\,200 \text{ MW} \quad (2)$$

同上分析, 以生物质发电系统最大功率波动20%来计算, 其功率波动为640 MW, 远远小于旋转备用的最大值1 500 MW, 为此, 其装机容量3 200 MW满足电力平衡要求。

2.4 北京电网对各类分布式电源的综合消纳能力分析

考虑风电和光伏发电系统的最大功率波动为总

并网容量的60%；生物质能发电系统的最大功率波动为总并网容量的20%，则分布式电源的功率波动为1 080 MW + 1 500 MW + 640 MW = 3 200 MW，可用来平衡北京地区分布式电源功率波动的旋转备用容量不超过1 500 MW，低于分布式电源的最大波动功率，因此分布式电源的装机容量需要进一步减小。在减少中，依据三种分布式电源的容量比例1:1:1.57进行削减，直至波动功率小于1 500 MW。削减后的各类分布式电源的接入容量如表3所示。

表3 北京电网接入分布式电源的容量（单位：MW）

	电网单独消纳能力	电网综合消纳能力
风电	1 800	990
光伏(光热)发电	2 500	990
生物质能发电	3 200	1 554
北京总计	—	3 534

综上所述，北京电网综合消纳风电、光伏发电、生物质发电的能力约为3 534 MW。未来，随着京津唐地区装机容量的进一步提升和北京电网网架的进一步完善，北京电网消纳新能源的能力也将得到进一步提高。

2.5 “十三五”末北京电网对各类分布式电源的综合消纳能力分析

2020年三华电网装机容量为9 569.25万kW，负荷备用容量按照5%计算，约为4 785 MW。根据“十三五”北京电网规划，2020年北京地区最大负荷将达到2 850万kW，可用来平衡北京地区分布式电源功率波动的旋转备用容量应不超过2 500 MW。2017年各类新能源、分布式电源的消纳能力如表4所示。

表4 北京电网接入分布式电源的容量（单位：MW）

	电网单独消纳能力	电网综合消纳能力
风电	1 800	1 650
光伏(光热)发电	2 500	1 650
生物质能发电	3 200	2 590
北京总计	—	5 890

经计算，北京电网2020年对新能源、分布式电源的最大消纳能力为5 890 MW，渗透率为20.67%。根据对北京地区新能源、分布式电源的发展规模预测，到2020年北京地区风电规模为53.5 MW，光伏发电规模达到180 MW，光热发电达到30 MW，生物质能发电规模达80 MW，燃气发电达15.4 MW，总计458.9 MW，不会对北京电网安全运行造成影响，能够实现全部消纳。

3 结束语

本文以北京电网为实例，从电压质量、电力电量平衡、调峰平衡等三个方面评估了北京电网对新能源的接纳能力，提出了电网对新能源、分布式电源消纳能力的计算方法。经过计算，北京电网可以消纳风电99万kW，光伏99万kW，生物质能155万kW；“十三五”末风电消纳能力将提升至165万kW，光伏达到165万kW，生物质能可消纳259万kW。计算结果对于北京电网的分布式电源规划具有指导作用。

参考文献

- [1] 刘振亚. 全球能源互联网[M]. 北京: 中国电力出版社, 2015.
- [2] 北京市发展与改革委员会. 北京地区“十二五”新能源规划[R]. 2011.
- [3] 国网北京市电力公司. 北京电网2015年度运行方式分析报告[R]. 2014.
- [4] 国网北京市电力公司. “十三五”北京地区配电网规划—分布式电源专项规划[R]. 2015.

(收稿日期: 2015-03-30) EA

作者简介

余潇潇(1986-), 女, 博士, 工程师, 主要从事电网规划、分布式电源规划与运行控制策略研究、智能配用电技术研究工作。

张璞(1986-), 女, 硕士, 工程师, 主要从事电网规划、电力经济技术研究工作。